

CONTROL DE CARGA BALASTO POR PERIODOS DE CONDUCCION, APLICADO A LA REGULACIÓN DE FRECUENCIA DE LA TENSION GENERADA EN MICRO Y PICO CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.

G. A. Fernández ¹, J. C. Kairiyama ², F. Botterón ³, V. H. Kurtz ⁴.

Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Electrónica (GID-IE).

Universidad Nacional de Misiones (UNaM) – Facultad de Ingeniería (FIO).

Juan Manuel de Rosas N° 325 – Oberá – Misiones – Argentina – C.P. 3360 – Tel.: 3755-422169; FAX: 3755-422170.

guillermo.fernandez.fio@gmail.com; kairi@fio.unam.edu.ar; botteron@gmail.com; kurtzvh@fio.unam.edu.ar.

RESUMEN: Una técnica de regulación de frecuencia de la tensión generada por micro y pico centrales hidroeléctricas, es mediante una carga en paralelo con la carga del usuario que debe energizar la central. Esta carga en paralelo es denominada “carga balasto”, y la misma debe ser variable para efectuar un control adecuado de la frecuencia. Atendiendo a esto, el presente artículo propone un circuito que permite controlar la cantidad de periodos de la tensión generada, que conducirá una carga balasto fija. De esta forma, es obtenida una carga balasto variable, mediante la cual puede controlarse la frecuencia. La cantidad de periodos de conducción puede variarse a través de un voltaje analógico, que debe aplicarse al circuito. Para la propuesta, se construyó un prototipo que ha sido ensayado con una carga resistiva, verificándose la correspondencia entre el valor del voltaje analógico y los periodos de conducción en la carga.

Palabras clave: Microcentrales hidroeléctricas (MCH), picocentrales hidroeléctricas, control de frecuencia, control por carga balasto, microcontroladores PIC.

INTRODUCCIÓN

En pequeños aprovechamientos hidroeléctricos que operan en forma aislada de la red eléctrica, la regulación automática de la frecuencia de la tensión generada, puede efectuarse mediante dos métodos (Kurtz y Anocibar, 2005):

- **Sistema de regulación de frecuencia por variación de caudal:** En este método, la regulación de frecuencia es obtenida variando la cantidad de agua turbinada, a través de un servomecanismo que controla la apertura/cierre del elemento regulador de caudal, como está indicado en la figura 1. De esta forma, se modifica la velocidad de rotación del generador, teniendo efecto sobre la frecuencia de la tensión generada. El servomecanismo mencionado, está constituido por un motor eléctrico que es controlado por una tensión proporcional a la frecuencia de la tensión generada y un valor de referencia de esta frecuencia (valor deseado de la misma).

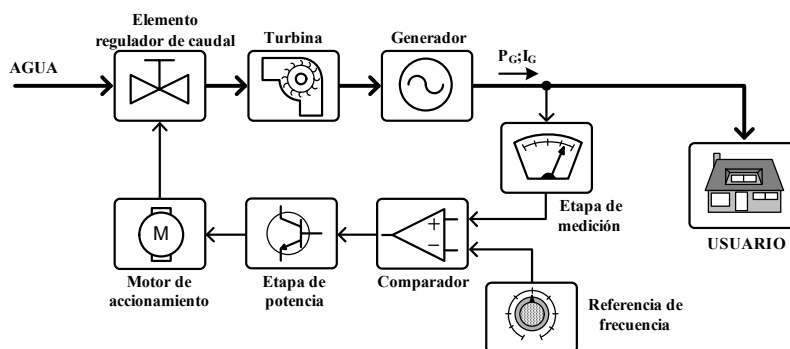


Figura 1: Regulación de frecuencia por variación de caudal.

La máxima velocidad de apertura/cierre que puede alcanzar el elemento regulador de caudal, es dependiente de las condiciones hidrodinámicas del aprovechamiento. En micro y pico centrales hidroeléctricas, esta velocidad generalmente es baja, con respecto a la variación de carga que pueda sufrir el generador. Además, las pequeñas masas inerciales que poseen estas instalaciones, provoca la sensibilidad de la velocidad de rotación del generador a los cambios del par resistente, impuesto por la carga eléctrica aplicada (Muñoz et al., 1996). Todo esto dificulta la regulación de la frecuencia de la tensión generada por estas pequeñas centrales, cuando es utilizado el método de variación de caudal.

¹ Docente-Investigador, FIO-UNaM.

² Docente-Investigador, FIO-UNaM.

³ Docente-Investigador, FIO-UNaM, CONICET.

⁴ Docente-Investigador, FIO-UNaM.

• **Sistema de regulación por carga balasto:** La regulación de frecuencia a través de este método consiste en someter al generador a un estado de carga aproximadamente constante, sin manipular el caudal turbinado. Para esto, el generador debe alimentar al consumo y a una carga resistiva, denominada carga balasto. Como se indica en la figura 2, la carga balasto está en paralelo a la carga del usuario, de esta forma se trata de mantener constante la potencia generada (P_G) variando la potencia disipada en la carga balasto (P_B), según cambie la potencia utilizada por el usuario (P_C). La potencia P_B es controlada por la frecuencia de la tensión generada, que depende del valor de P_C . La frecuencia de la tensión generada es comparada permanentemente con un valor de referencia, de esta forma si la frecuencia generada es mayor que la de referencia, el sistema de regulación deriva más energía a la carga balasto. Igualmente, si la frecuencia generada es menor a la de referencia, el sistema deriva menos energía a la carga balasto (Kurtz y Anocibar, 2005). Este sistema de regulación no posee problemas de velocidad de respuesta como la regulación por variación de caudal, pero reduce el almacenamiento de agua para turbinar.

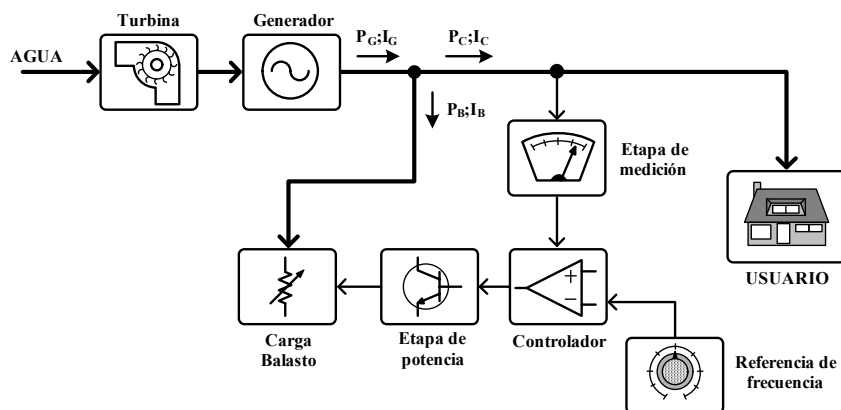


Figura 2: Regulación de frecuencia por carga balasto.

En la figura 2, la información referida a la variación de frecuencia puede obtenerse a través de la medición de la corriente o la tensión generada (Kurtz y Botterón, 2006), o inclusive ambas al mismo tiempo.

Atendiendo a las ventajas mencionadas en el sistema de regulación de frecuencia por carga balasto, a continuación es presentado un circuito que permite obtener una carga balasto variable. Para esto, se utiliza la técnica denominada control de potencia por ciclos de conducción (Lilen, 1991). En esta técnica, una carga fija (resistencia) es energizada periódicamente a través de un número determinado de ciclos de la tensión alterna que la alimenta. De esta forma, modificando el número de ciclos, puede obtenerse una variación en la potencia disipada, y así una carga variable.

Es importante destacar que para el control de la potencia en la carga balasto podrían utilizarse otros métodos propuestos, tales como el control de potencia por ángulo de conducción (Kurtz y Anocibar, 2005) o la modulación por ancho de pulso, pero estos métodos presentan problemas inherentes a la emisión de interferencias electromagnéticas, en el primer caso y una cierta complejidad en el circuito de comando del transistor de potencia (Kurtz y Botterón, 2006).

El circuito propuesto en este artículo está basado en elementos de bajo costo y fácilmente asequibles en el mercado local y nacional. El mismo es parte del proyecto de investigación denominado “Diseño de sistemas electrónicos para control de tensión y frecuencia en micro y pico centrales hidroeléctricas”, desarrollado dentro del grupo GID-IE, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nacional de Misiones.

FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO PROPUESTO

El circuito propuesto posee un microcontrolador de ocho bits que esta dedicado a gestionar la cantidad de ciclos de conducción en la carga balasto, partiendo de un voltaje analógico de entrada (V_{IN}). Este voltaje deberá ser proporcionado por otro circuito denominado sistema de automatización, supervisión y control (SASC) de la micro central hidroeléctrica (Kairiyama et al., 2009). El SASC, en conjunto con el circuito propuesto, controlará la frecuencia de la tensión generada. Cabe mencionar que el SASC puede constituirse a través de un controlador lógico programable (PLC) o un circuito con microcontrolador, ambos dispositivos programables.

Como se ha mencionado, el control de potencia de la carga balasto (resistencia) es a través del control de los ciclos de la tensión que se aplica sobre la misma (tensión generada). De esta forma, la resistencia balasto es energizada periódicamente durante un número de ciclos de la tensión generada. El número de ciclos de conducción depende de las necesidades de potencia para compensar la frecuencia de generación. En la figura 3 puede apreciarse un ejemplo con distintos números de ciclos de conducción.

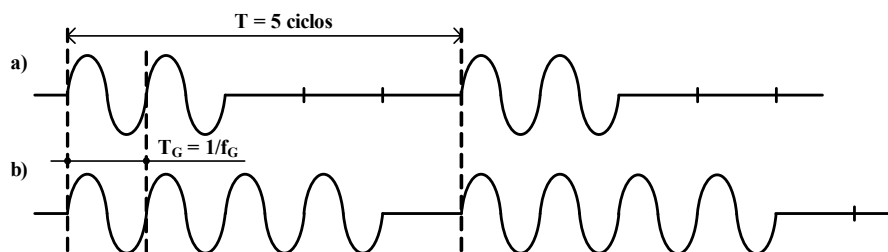


Figura 3: Tensión aplicada a la carga balasto a) Con dos ciclos de conducción; b) Con cuatro ciclos de conducción.

La carga balasto absorbe energía a través de un accionamiento electrónico, cuya apertura/cierre esta sincronizada con el cruce por cero de la onda de tensión generada. Esto es así a los fines de reducir la emisión de interferencia electromagnéticas (Fairchild Semiconductor, 2002) que puedan afectar el funcionamiento de circuitos cercanos (Kurtz y Botterón, 2006). En la figura 4 puede apreciarse un diagrama en bloques del circuito propuesto, en el puede observarse que el circuito cuenta con una serie de líneas de entrada/salida (bus de control) que permiten el control del programa incorporado en el microcontrolador. Estas líneas, como será explicado mas adelante, permiten establecer una comunicación con el SASC, quien controla la secuencia de funcionamiento del circuito propuesto. En los párrafos siguientes se presentan los circuitos y la funcionalidad de cada uno de los bloques que constituyen al diagrama de la figura 4.

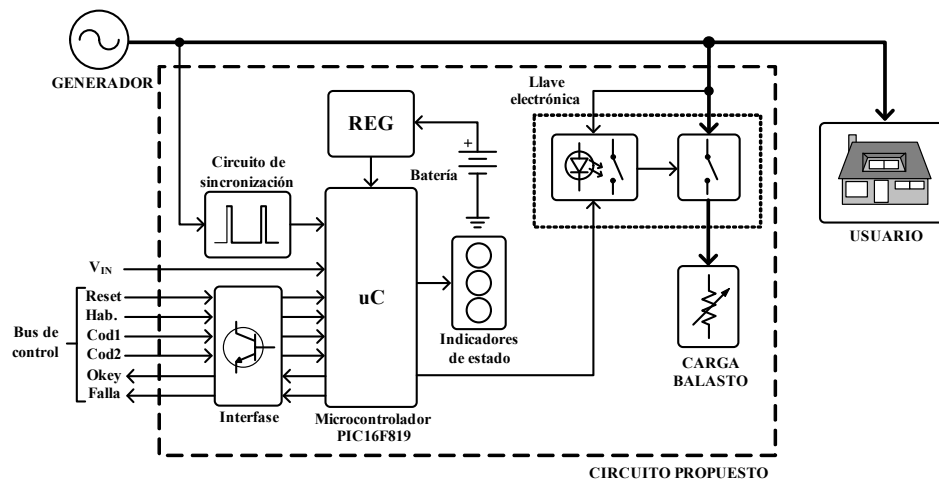


Figura 4: Diagrama en bloques del circuito de control de carga balasto por periodos de conducción.

Si el sistema de generación de la figura 4 es trifásico, deberá existir un circuito propuesto por cada fase. Cada circuito será controlado por el SASC, a través del bus de control indicado.

ETAPA DE SINCRONIZACIÓN

Este circuito es el encargado de proporcionar un pulso cada vez que comienza un ciclo en la tensión generada. De esta forma, el programa que posee el microcontrolador puede contabilizar el número de periodos que permanecerá energizada la carga balasto. Número que depende del valor del voltaje V_{IN} , indicado en la figura 4.

El circuito de sincronización está conformado por un multivibrador monoestable, constituido por el NE555 de la figura 5, quien proporciona un pulso de salida cada vez que recibe una señal de disparo en su entrada 2. El ancho del pulso producido es dependiente de los valores de R_7 y C_7 (Floyd, 2006).

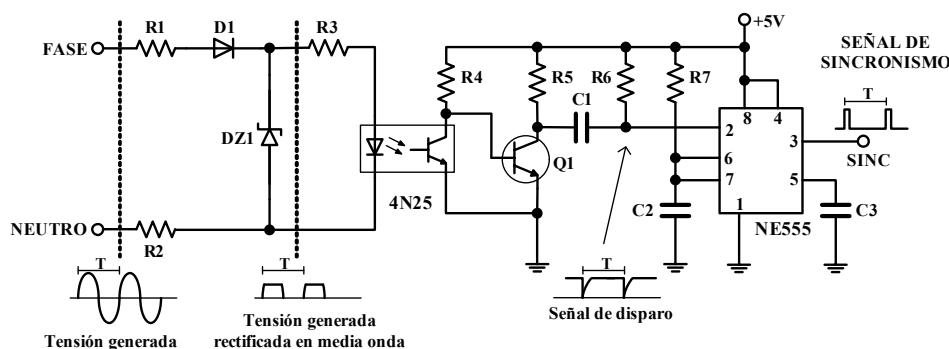


Figura 5: Etapa de sincronización.

La señal de disparo es proporcionada mediante el inicio del proceso de carga del capacitor C_1 , cada vez que el transistor Q_1 pasa a su estado de saturación. Dicho estado de saturación sucede cuando la onda de tensión generada pasa a su semiperiodo negativo. De esta forma, la salida SINC de la figura 5, proporcionará un tren de pulsos con periodo igual que el correspondiente a la onda de tensión generada.

ACCIONAMIENTO ELECTRÓNICO

Es la parte del circuito que permite energizar a la carga balasto. Debido al tipo de control de potencia utilizado, este accionamiento está sometido a un alto número de operaciones de apertura/cierre con una frecuencia de trabajo considerablemente alta. Por tal motivo es utilizado un triac (TR1) como dispositivo de accionamiento. Como podemos observar en la figura 6, el triac es comandado a través de un opto-triac (MOC3041). Este dispositivo activa al triac cada vez que el microcontrolador proporciona 0V en la entrada denominada DISPARO. En realidad, como el MOC3041 posee

internamente un circuito detector de cruce por cero de la onda de tensión, la orden de encendido o apagado del triac sólo se efectivizará en el instante en que hay 0V en la onda de tensión generada. De esta forma se reducen las variaciones bruscas de corriente en la carga balasto, disminuyendo las emisiones de interferencias electromagnéticas que puedan afectar a otras partes del circuito, protegiendo al triac (Fairchild Semiconductor, 2002) y a la propia carga balasto.

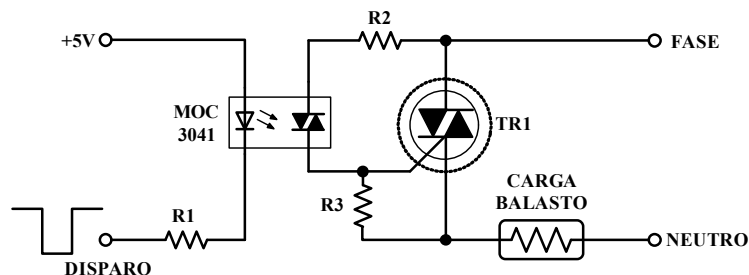


Figura 6: Circuito de accionamiento electrónico.

En el prototipo desarrollado, la carga balasto empleada posee una potencia de 2000 W (en 220 V), por lo que se utilizó un triac con una corriente eficaz máxima de 16 A y un voltaje pico repetitivo de 600 V. El triac se ha montado sobre un disipador, a los fines de refrigerarlo correctamente cuanto se encuentra en estado de conducción permanente (peor de los casos, para las solicitaciones térmicas del dispositivo). Cabe destacar que el valor de la potencia correspondiente a la carga balasto depende de la potencia nominal de generación (Kurtz y Botterón, 2006).

MICROCONTROLADOR-PROGRAMA

Para implementar el control por periodos de conducción se ha utilizado un microcontrolador de ocho bits PIC16F819, que cuenta con las características funcionales necesarias, además es de bajo costo y de fácil adquisición en el mercado local. Las características que se destacan para el desarrollo del circuito propuesto son:

- Operación con cristal externo de 4 Mhz.
- Nueve líneas de entrada/salida digitales. Dos de ellas capaces de manejar individualmente una corriente de 20 mA.
- Interrupción externa con flanco activo configurable.
- Un canal para conversión analógica-digital de 10 bits.
- Dos módulos contador/temporizador, uno de ocho bits y otro de dieciséis bits, con divisor de frecuencia y señal de reloj programables.
- Memoria de programa de 2Kbyte.

En la figura 7 pueden apreciarse las conexiones del microcontrolador con otras partes del circuito. Este dispositivo se encuentra alimentado a través de una tensión de 5V, obtenida a partir de un regulador de voltaje (LM7805) el cual es energizado por una fuente de alimentación de 12V (batería). Las entradas y salidas del microcontrolador sólo pueden manejar niveles lógicos de 0V (cero) y 5V (uno), mientras que la entrada analógica RA0/AN0 puede recibir voltajes comprendidos entre 0V y 5V.

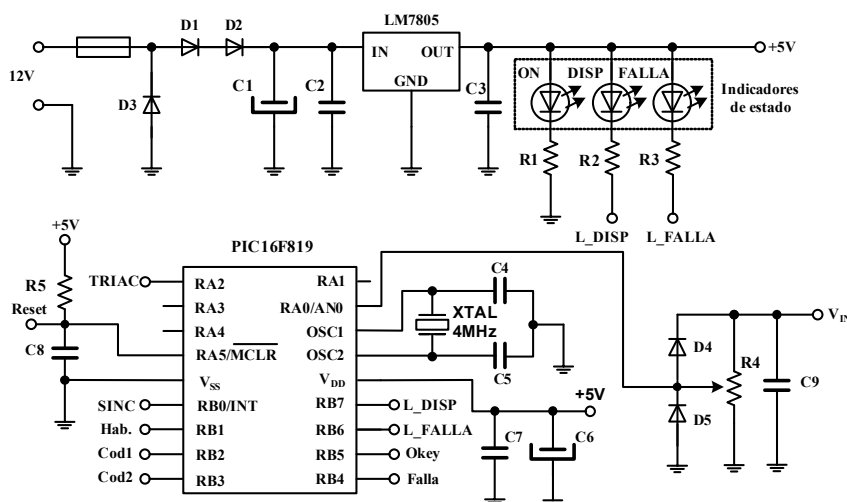


Figura 7: Esquema de conexiones del microcontrolador.

El circuito propuesto ha sido diseñado para interactuar con un controlador lógico programable (PLC), el cual constituye el SASC de la pequeña central. Como el mismo opera con salidas/entradas digitales de 0V y 24V, el bus de control indicado en

la figura 4, posee una interfase encargada de adaptar los niveles lógicos de las entradas/salidas del microcontrolador. La figura 8 presenta el circuito utilizado como interfase en cada línea de entrada/salida.

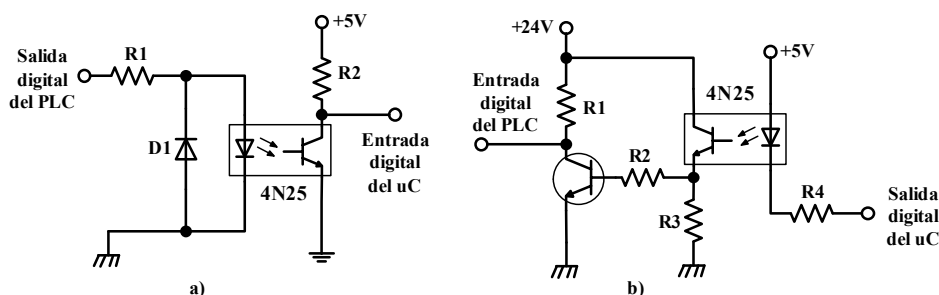


Figura 8: Interfase a) De 24V a 5V, para entrada digital del uC; b) De 5V a 24V, para salida digital del uC.

Como se ha mencionado, para controlar la frecuencia de generación es necesario contar con una carga balasto variable, la cual, en este caso, se obtiene controlando los ciclos de conducción sobre una resistencia fija. Para esto, el controlador lógico programable (PLC) proporciona el voltaje analógico V_{IN} , cuyo valor está asociado a la cantidad de ciclos de conducción de la carga balasto. En el PLC, este voltaje analógico de salida puede variar entre 0 y 10V, por lo cual debe reducirse a una variación de 0 a 5V, a los fines de que el módulo convertidor analógico-digital del microcontrolador pueda efectuar la conversión correctamente. La reducción mencionada es realizada mediante la resistencia R4, indicada en la figura 7. Con el fin de determinar la relación entre V_{IN} y los ciclos de conducción de la resistencia balasto, en el programa del microcontrolador es definido un periodo P que corresponde a un número de ciclos de conducción determinado. Con esto, el voltaje V_{IN} controla (a través del programa del microcontrolador) cuantos ciclos de P permanecerá energizada la carga balasto. La tabla 1 indica la relación mencionada, en la misma es tomado P como 20 ciclos, valor de prueba considerado en el circuito desarrollado.

Rango de Voltaje proporcionado por el PLC (V_{IN}).	Ciclos de conducción en la carga balasto.	Rango de Voltaje proporcionado por el PLC (V_{IN}).	Ciclos de conducción en la carga balasto.
0 – 0,46V	NO HAY CONDUCCION	4,80V – 5,26V	10
0,48V – 0,94V	1	5,28V – 5,74V	11
0,96V – 1,42V	2	5,76V – 6,22V	12
1,44V – 1,90V	3	6,24V – 6,70V	13
1,92V – 2,38V	4	6,72V – 7,18V	14
2,40V – 2,86V	5	7,20V – 7,66V	15
2,88V – 3,34V	6	7,68V – 8,14V	16
3,36V – 3,82V	7	8,16V – 8,62V	17
3,84V – 4,30V	8	8,64V – 9,10V	18
4,32V – 4,78V	9	9,12V – 9,58V	19
		9,60V – 10,00V	CONDUCCION TOTAL

Tabla 1: Relación entre el voltaje analógico V_{IN} y el número de ciclos de conducción en la carga balasto.

En la tabla 1, por ejemplo, cuando $V_{IN} = 1,5V$, en la carga balasto hay una conducción periódica de tres ciclos de un periodo de 20 ciclos de la tensión generada (esto es, cada 20 ciclos de la tensión generada sólo conduce tres).

El programa incorporado en el microcontrolador, consiste en una secuencia de estados gobernada por el PLC mediante el bus de control indicado en la figura 4. Esta secuencia constituye una máquina de estados finitos, la cual evoluciona de un estado a otro a medida que se cumplen ciertas condiciones de entrada (Uyemura, 2000). Estas condiciones las impone el PLC, modificando los estados lógicos en las líneas del bus de control. La máquina de estados puede representarse por el diagrama de transición de estados (DTE), indicado en la figura 9. En la figura mencionada, durante el funcionamiento normal del circuito, las transiciones de un estado a otro son provocadas por los cambios producidos en las entradas **Hab** y **Cod** (producto lógico entre los valores de las entradas **Cod1** y **Cod2**). Las salidas **Falla** y **Okey**, permiten comunicar al SASC (el PLC en este caso) sobre el estado de funcionamiento del circuito. Estos estados, indicados en el DTE, son descriptos a continuación.

- **Estado INICIO:** Corresponde al inicio del programa, cuando es energizado el microcontrolador o este recibe una señal activa en la entrada **Reset** del PLC. Cuando la entrada **Hab** recibe un pulso activo en bajo y **Cod** se encuentra en “0”, el programa pasa al estado PARADA, poniendo las salidas **Falla** y **Okey** en “01” para indicar al PLC el cambio de estado. Si durante la transición al siguiente estado se produce una falla en la entrada **Hab**, el programa pasa al estado de FALLA1.
- **Estado PARADA:** Este estado corresponde a la parada de la central. El programa detecta los cambios en la entrada **Cod**, y a su vez considera la presencia de un pulso bajo en la entrada **Hab**, para pasar al estado FUNCION. Si hay un cambio en **Cod** (**Cod** = 1), sin existir el pulso en **Hab**, el programa detecta una falla en las entradas **Cod1** y **Cod2** pasando al estado de FALLA1. También se pasa al estado de falla mencionado cuando, durante la transición al siguiente estado se produce una falla en la entrada **Hab**. Cuando el programa pasa al estado FUNCION, pone las salidas **Falla** y **Okey** en “10” para indicar al PLC el cambio de estado. En este estado, si la entrada **Reset** recibe un nivel lógico activo, el programa vuelve a INICIO.

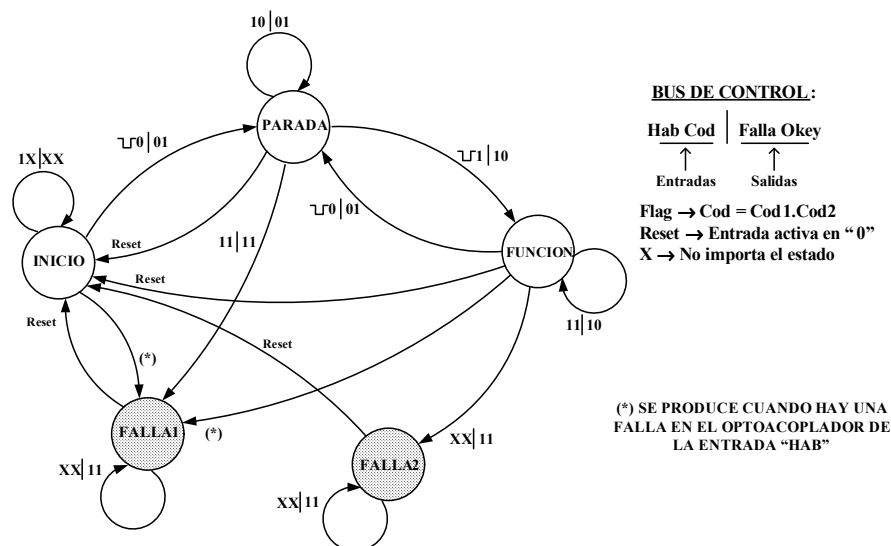


Figura 9: Diagrama de transición de estados (DTE) del programa contenido en el microcontrolador.

- **Estado FUNCION:** Este estado difiere de los anteriores ya que en el mismo la micro central se encontrará en funcionamiento y estará presente el control de frecuencia de la tensión generada. En el presente estado, el microcontrolador efectúa la conversión analógico-digital del voltaje V_{IN} (proporcionado por el PLC), cada vez que hay un pulso bajo en la entrada **Hab**, pero sin existir cambios en **Cod**. El valor de la conversión es procesado por el programa, asociándolo a un número de ciclos de conducción de los P ciclos fijados previamente. De esta forma la carga balasto conduce una cantidad de ciclos de la tensión de generación, vinculadas al voltaje analógico V_{IN} , como lo muestra la tabla 1. La presencia de la acción de control de conducción de la carga, puede visualizarse en el circuito mediante el estado de encendido intermitente del indicador DISP de la figura 7. Si en este estado se produce una falla en la entrada **Hab**, el programa pasa al estado de FALLA1. En este estado también se verifica constantemente la presencia de los pulsos proporcionados por la etapa de sincronismo, en caso de detectarse la ausencia de los mismos, el programa pasa al estado de FALLA2. En el estado FUNCION, si la entrada **Reset** recibe un nivel lógico activo, el programa vuelve a INICIO. Si hay cambios en la entrada **Cod** y un pulso en bajo en **Hab**, el programa vuelve al estado PARADA.
- **Estado FALLA1:** Este estado es alcanzado cuando una falla en la entrada **Hab**, o cuando hay un cambio en la entrada **Cod** sin existir el pulso bajo en **Hab**. Cuando el programa ingresa a este estado, el indicador FALLA de la figura 7 es encendido de forma intermitente, mientras que DISP es apagado. De este estado sólo puede salirse al proporcionarse un nivel lógico activo en la entrada **Reset**.
- **Estado FALLA2:** El programa ingresa a este estado cuando detecta la ausencia de pulsos provenientes de la etapa de sincronismo. En este estado, el indicador FALLA es encendido de forma permanente, mientras que DISP es apagado. Al igual que en el estado de falla anterior, sólo puede salirse de este estado si la entrada **Reset** es activada.

Cabe mencionar que en el funcionamiento explicado, la detección de falla en la entrada **Hab** es realizada cuando el pulso en bajo, proporcionado a esta entrada, no cumple con un tiempo mínimo de 500 milisegundos. La falla debido a la ausencia de pulsos provenientes de la etapa de sincronismo, es detectada a través del desbordamiento de un módulo temporizador/contador interno que posee el microcontrolador. Con cada pulso de sincronismo el temporizador es reiniciado. De esta forma, en ausencia de pulsos, habrá un desbordamiento del temporizador/contador que provoca la interrupción del programa, derivando al estado de FALLA2. El módulo temporizador/contador está configurado de manera tal que la frecuencia de generación pueda variar entre 40 Hz y 60 Hz, a los efectos de evitar falsas detecciones durante la operación del control.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Inicialmente se ha verificado la secuencia del programa, haciendo evolucionar al mismo a través de todos sus estados, mediante el ingreso manual de las señales correspondientes en el bus de control. A los fines de verificar la respuesta del circuito, ante las variaciones del voltaje V_{IN} , se han efectuado mediciones de tensión en la señal de sincronismo (señal SINC), en la señal que activa el accionamiento electrónico (señal DISP) y sobre la carga balasto. Estas mediciones han sido efectuadas con un osciloscopio de almacenamiento digital, a efectos de capturar los resultados, los cuales están representados en la figura 10.

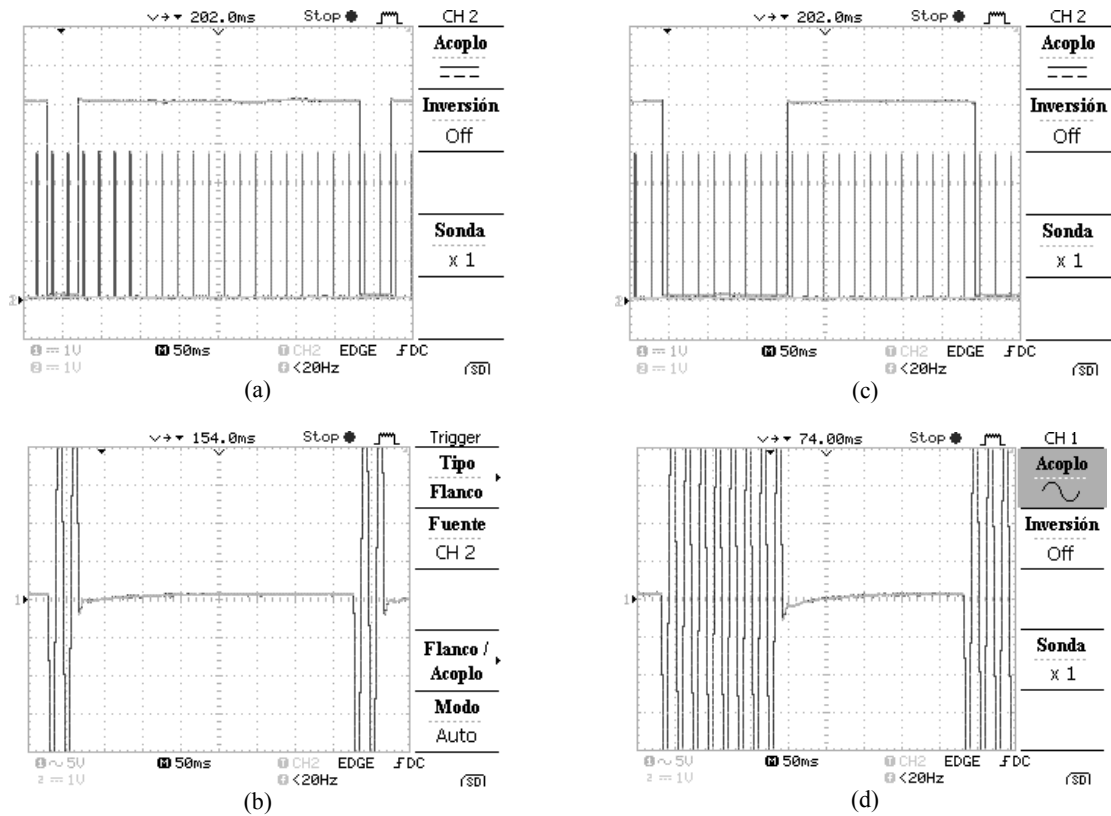
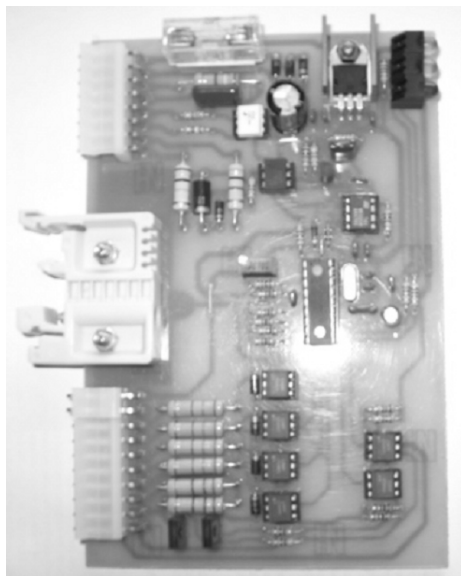


Figura 10: (a) y (c) Pulsos de sincronismo y señal de activación del accionamiento electrónico (Escala: 1V/div; 50ms/div). (b) y (d) Tensión sobre la carga balasto (Escala: 1V/div; 50ms/div; con atenuación x 10). (a) y (b) Para $V_{IN} = 1,2$ V, dos ciclos de conducción en la carga balasto. (c) y (d) Para $V_{IN} = 4$ V, ocho ciclos de conducción en la carga balasto.

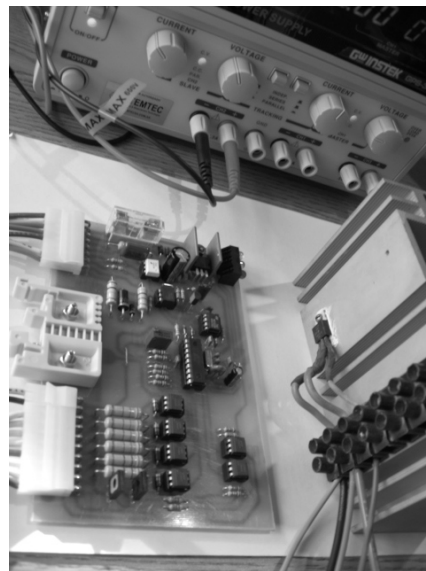
En la figura 10, puede apreciarse que el circuito responde correctamente ante los valores de V_{IN} , cumpliéndose la relación indicada en la tabla 1.

En micro y pico centrales hidroeléctricas, para el diseño del sistema de supervisión, automatización y control (SASC), por cuestiones de practicidad en la construcción, generalmente se recurre a un PLC de bajo costo. Estos dispositivos están provistos de un reducido número y tipo de entradas/salidas (tanto digitales como analógicas), lo cual dificulta el control de frecuencia por el método de carga balasto. Esta complicación es acrecentada cuando hay generación trifásica. Siendo este último caso, donde el bus de control y la entrada analógica V_{IN} , correspondientes al circuito controlador de periodos de conducción propuesto, juegan un papel importante, ya que permiten reducir el número y tipo de entradas/salidas (y por ende costos), destinadas por el PLC al control de la frecuencia de generación. Para sistemas trifásicos, el control de frecuencia es efectuado a través de una carga balasto variable por cada fase, por lo cual, deberán existir tres circuitos como el indicado en la figura 11. En la generación trifásica, tanto el bus de control (a excepción de la línea Hab, que debe existir una por cada fase) como el voltaje analógico de entrada V_{IN} , son compartidos por el controlador de periodos de conducción correspondiente a cada fase. Si bien, un mismo voltaje V_{IN} es aplicado a los tres controladores, cada uno posee una entrada Hab propia, a través de la cual puede indicarse de forma independiente, que circuito es el que debe procesar el voltaje mencionado. Todo esto, cuando cada controlador de fase ha llegado al estado FUNCION, indicado en el diagrama de la figura 9. Cabe mencionar que los tres circuitos evolucionan conjuntamente de igual forma hasta llegar al estado mencionado.

Como se ha visto, el corazón del circuito desarrollado, es un dispositivo programable (el microcontrolador), lo cual permite cierto grado de flexibilidad a la hora de determinar las acciones del controlador en la secuencia de funcionamiento, como por ejemplo podría accionarse inicialmente la carga balasto con valores escalonados de conducción, para de esta forma evitar el frenado brusco del generador.



(a)



(b)

Figura 11: Foto del controlador de periodos de conducción: (a) Circuito armado. (b) Circuito conectado al accionamiento electrónico (triac).

REFERENCIAS

- Fairchild Semiconductor (2002). "AN3004: Applications of zero voltage crossing optically isolated triac drivers", pp.1-3.
- Floyd T. L. (2006). "Fundamentos de sistemas digitales", 9ª edición, pp. 448-450. Pearson educación, Madrid.
- Kairiyama J. C., Fernández G. A., Kurtz V. H. (2009). "Sistema de automatización, supervisión y control del Aprovechamiento Hidroeléctrico Arroyo El Tigre. La máquina de estado como herramienta de diseño". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.13, (6), p.p.195-201, ASADES09, Argentina.
- Kurtz V. H. y Anocibar H. R. (2005). "Sistema mixto para el control de la generación en microcentrales hidroeléctricas". XI Encuentro Latinoamericano Sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos, ELPAH 2005.
- Kurtz V. H. y Botterón F. (2006). "Alternativa para el control de cargas balasto". Revista Hidrored (ISSN 0935-0578), número 1, año 2006, pp. 2-9.
- Lilen H. (1991). Tiristores y triacs, pp. 113-116. Marcombo, Barcelona.
- Muñoz H. E., Reversat J. H., Caballero A. L. (1996). "Regulador de frecuencia asincrónico resonante y su aplicación a las microcentrales hidroeléctricas". Revista Imagen (ISSN 0328-9729), número 1, año 1996, pp. 14-15.
- Uyemura J. P. (2000). "Diseño de sistemas digitales, un enfoque integrado", 2ª edición pp. 375-386. Thomson editores, México.

ABSTRACT: A frequency regulation control technique of the generated voltage in micro and pico hydel is performed connecting a shunt load with the user load. This shunt load is commonly named "dummy load", and it should be variable in order to accomplish an appropriate frequency control. Concerning this, this paper proposes an electronic circuit that allows to control the number of periods of the applied voltage over a fix dummy load, allowing in this way, to achieve a variable dummy load. The number of conduction periods, can be varied through an analogical voltage applied to the proposed circuit. For this proposal, a prototype has been built and tested with a resistive load. In this test, the correspondence between the values of the input analogical voltage and the conduction periods of the dummy load has been verified.

Keywords: Micro hydel, pico hydel, frequency control, dummy load control, PIC microcontrollers.